

Analisis Pengaruh Parameter Operasional dan Penggunaan *Stabilizer* terhadap Perilaku Arah Belok Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4X4)

Deva Andriansyah dan I Nyoman Sutantra

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: tantra@me.its.ac.id

Abstrak—Salah satu tipe mobil yang diminati oleh masyarakat Indonesia yaitu Toyota Fortuner yang termasuk dalam kelas mobil SUV (*sport utility vehicle*). Dalam pengoperasiannya mobil SUV harus mampu memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengendaranya. Salah satu faktor penunjang dari segi keamanan mobil ini yaitu perilaku arah beloknya. Dengan harga jual yang relatif tinggi di Indonesia, diharapkan mobil ini dapat memberikan perilaku arah belok yang baik. Terdapat dua tahapan dalam penelitian ini yaitu tahap analisis dan uji jalan pada radius belok tetap, 10 meter. Pada tahap analisis dilakukan perhitungan berdasarkan analisa *slip*, *skid*, dan guling untuk mengetahui perilaku arah belok mobil dengan variasi pada parameter operasionalnya yaitu: jumlah penumpang, kecepatan, sudut belok, kondisi permukaan jalan, dan tekanan ban. Selain itu, analisis pengaruh penggunaan *stabilizer* terhadap perilaku arah belok mobil juga dilakukan. Uji jalan dilakukan untuk mengetahui Koefisien *Understeer* (K_{us}) dari mobil tersebut pada jalan aspal dan tanah dengan kondisi mobil tanpa dan menggunakan *stabilizer*. Hasil yang didapatkan dari uji jalan akan dibandingkan dengan hasil dari analisis perhitungan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa mobil Toyota Fortuner mengalami kondisi belok paling baik ketika dinaiki oleh 2 orang penumpang dengan tekanan ban sebesar 35 Psi dan melintas pada jalan aspal karena kendaraan lebih sedikit mengalami *oversteer* dan memiliki (K_{us}) positif terkecil serta tidak mudah mengalami *skid*. Penggunaan *stabilizer* pada mobil Toyota Fortuner tidak berpengaruh terhadap perilaku arah beloknya karena K_{us} yang dihasilkan pada uji jalan nilainya hampir sama yaitu 1,8045 dan 1,8115 pada jalan aspal serta 2,151 dan 2,1641 pada jalan tanah. Namun, penggunaan *stabilizer* bermanfaat untuk memperkecil sudut guling ketika mobil berbelok.

Kata Kunci— *stabilizer*, *slip*, *skid*, *understeer*, *oversteer*.

I. PENDAHULUAN

Pada situs resmi Badan Pusat Statistik Nasional (BPS) pada tahun 2013 silam, tercatat bahwa terdapat sebelas ribu lebih unit mobil di Indonesia [1]. Salah satu mobil yang diminati oleh masyarakat Indonesia ialah Toyota Fortuner yang termasuk jenis mobil SUV (*Sport Utility Vehicle*). Mobil SUV merupakan jenis mobil penumpang yang menggabungkan konsep mobil *Off-Road* dan *On-Road*. Selain mengutamakan kenyamanan dalam berkendara, mobil SUV juga harus mampu memberikan tingkat keamanan yang tinggi. Apabila tingkat kenyamanan dan kemannya tidak seimbang maka dapat memberikan resiko yang besar bagi pengendaranya. Penelitian dari Dukkupati dkk. [2] menyebutkan bahwa pada periode 1985-1990 mobil SUV menyumbang sebesar 10,75% dari total kecelakaan mobil yang terjadi di Amerika Serikat dan jumlah itu meningkat pada tahun 2002 yakni sebesar 25,6%. Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kenyamanan dan keamanan kendaraan yaitu perilaku arah kendaraan saat berbelok. Perilaku arah belok kendaraan itu sendiri erat kaitannya dengan *handling performance* dan kondisi operasional dari kendaraan tersebut

seperti kecepatan, sudut belok, tekanan ban, dan sebagainya. Penelitian dari Uys dkk. [3] menyebutkan bahwa salah satu parameter yang harus diperhatikan untuk meningkatkan *handling performance* kendaraan yaitu sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok. Dengan memperkecil sudut guling tersebut, maka *handling performance* kendaraan akan meningkat. Penelitian dari P. H. Cronje dan P. S. Els pada tahun 2009 terhadap mobil *Land Rover Defender* 110 menyebutkan bahwa pada pengaturan *soft suspension* penggunaan *Active Anti Roll Bar* (AARB) dapat mengurangi sudut guling maksimum sebesar 74% daripada tanpa menggunakan *Anti Roll Bar* (ARB) dan sebesar 45% pada pengaturan *stiff suspension*. Sedangkan apabila dibandingkan dengan menggunakan ARB pasif, AARB dapat mengurangi sudut guling maksimum sebesar 55% pada pengaturan *soft suspension* dan 40% pada pengaturan *stiff suspension* [4].

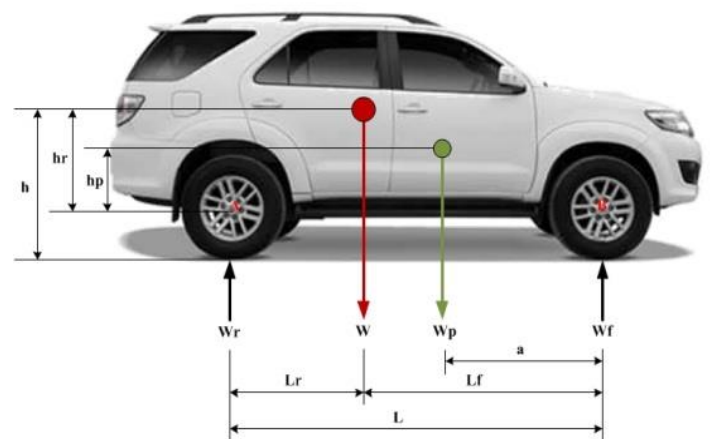
Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui perilaku arah belok mobil Toyota Fortuner dengan memperhitungkan pengaruh dari parameter operasionalnya serta penggunaan *stabilizer* pada mobil tersebut.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu dimulai dengan studi literatur untuk mendapatkan spesifikasi kendaraan. Kemudian mencari kekakuan dari *stabilizer* yang terpasang pada kendaraan. Dilanjutkan dengan melakukan analisa perilaku arah belok kendaraan melalui perhitungan berdasarkan metode analisa *slip*, *skid*, dan guling. Kemudian yang terakhir yaitu melakukan uji jalan pada kendaraan untuk mendapatkan nilai K_{us} .

A. Analisa Perhitungan

A.1. Titik Berat Kendaraan



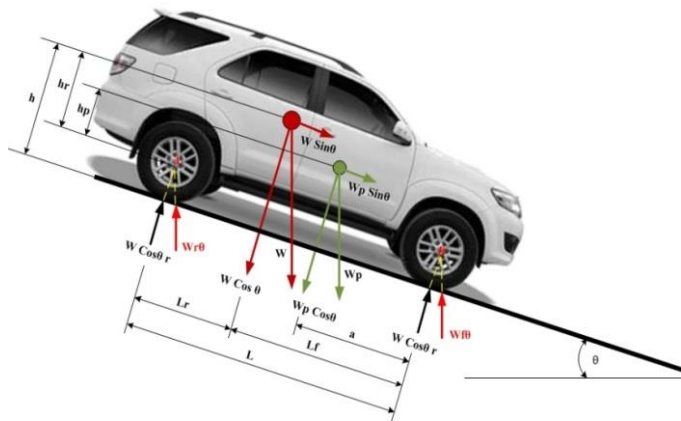
Gambar 1. *Free body diagram* berat mobil Toyota Fortuner dengan penambahan penumpang.

Titik berat dari mobil Toyota Fortuner dapat diketahui berdasarkan *Free Body Diagram* (FBD) pada gambar 1 dan 2.

$$L_f = \frac{W_r \cdot L}{W} \quad (1)$$

$$L_f' = \frac{W_p \cdot a + W \cdot L_f}{W_t} \quad (2)$$

L_f adalah letak titik berat awal kendaraan dari sumbu roda depan, L adalah *wheelbase* kendaraan, W adalah berat kendaraan, W_r adalah berat kendaraan bagian belakang, W_p adalah berat penumpang, dan a adalah jarak titik berat penumpang dari sumbu roda depan, dan W_t adalah berat total kendaraan setelah penambahan penumpang. Letak titik berat kendaraan setelah penambahan penumpang (L_f') dapat dicari menggunakan (2). Tinggi titik berat kendaraan kosong dari tanah (h) dan setelah penambahan penumpang (h') dapat dicari menggunakan (4) dan (6) berdasarkan FBD pada gambar 2. Dimana W_{f0} adalah berat kendaraan bagian depan ketika ditimbang pada posisi miring, h_p adalah tinggi dari titik berat penumpang, dan r adalah jari-jari roda kendaraan.



Gambar 2. FBD mobil Toyota Fortuner dengan posisi membentuk sudut θ setelah penambahan penumpang.

$$h_r = \frac{W_{f0} \cdot L - W \cdot L_r}{W \tan \theta} \quad (3)$$

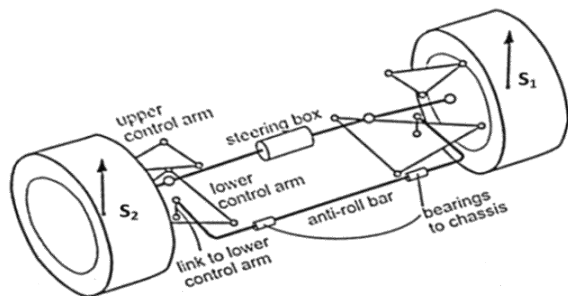
$$h = h_r + r \quad (4)$$

$$h_r' = \frac{W \cdot h_r + W_p \cdot h_p}{W + W_p} \quad (5)$$

$$h' = h_r' + r \quad (6)$$

A.2. Kekakuan Stabilizer

Penggunaan *stabilizer* pada kendaraan dapat membantu mengurangi besarnya sudut guling ketika kendaraan berbelok. Besarnya kekakuan dari *stabilizer* kendaraan dapat diketahui berdasarkan (7) yang mengacu pada gambar 3.



Gambar 3. Sistem suspensi dengan penambahan *anti roll bar* [5].

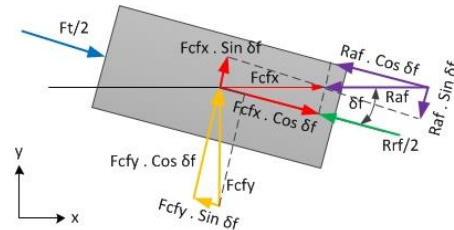
$$F_{arb} = \pm R_s(S_1 - S_2) \quad (7)$$

F_{carb} merupakan gaya yang diterima oleh *stabilizer* pada

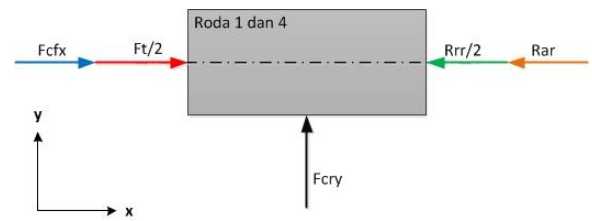
ujung-ujungnya, S_1 dan S_2 merupakan perpindahan vertikal pada ban akibat terjadinya *body roll*, dan R_s adalah kekakuan *stabilizer*.

A.3. Gaya yang Bekerja pada Kendaraan Belok

Gaya-gaya yang terjadi pada setiap ban kendaraan dapat diketahui berdasarkan FBD pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Gaya-gaya yang terjadi pada roda depan kendaraan.



Gambar 5. Gaya-gaya yang terjadi pada roda belakang kendaraan.

Dimana,

- m = Massa kendaraan
- V = Kecepatan kendaraan belok
- R = Radius belok jalan
- F_c = Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan
- F_{cx} = Gaya sentrifugal ke arah longitudinal
- F_{cy} = Gaya sentrifugal ke arah lateral
- F_t = Gaya dorong kendaraan dengan kecepatan konstan
- R_a = Gaya hambat aerodinamika kendaraan
- R_r = Gaya hambat *rolling* yang terjadi pada ban kendaraan
- δ_f = Sudut belok kendaraan

Gaya Longitudinal (F_x):

$$F_{x1} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_f}{L} (F_{cx} - R_a) - R_{rr} \right] \quad (8)$$

$$F_{x2} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \cos \delta_f - \frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \sin \delta_f - R_{rr} \right] \quad (9)$$

$$F_{x3} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \cos \delta_f - \frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \sin \delta_f - R_{rr} \right] \quad (10)$$

$$F_{x4} = \frac{1}{2} \left[\frac{F_t}{2} + \frac{L_f}{L} (F_{cx} - R_a) - R_{rr} \right] \quad (11)$$

Gaya Lateral (F_y):

$$F_{y1} = \frac{F_{cry}}{2} = \frac{L_f}{2L} F_{cy} \quad (12)$$

$$F_{y2} = \frac{1}{2} \left[\frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \cos \delta_f + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \sin \delta_f \right] \quad (13)$$

$$F_{y3} = \frac{1}{2} \left[\frac{L_r}{L} F_{cy} \cdot \cos \delta_f + \frac{L_r}{L} (F_{cx} - R_a) \sin \delta_f \right] \quad (14)$$

$$F_{y4} = \frac{F_{cry}}{2} = \frac{L_f}{2L} F_{cy} \quad (15)$$

Gaya Vertikal (F_z):

$$F_{z1} = \frac{L_f}{2L} W - \frac{F_{cry} \cdot h_{gr}}{t_r} - \frac{M_{gr}}{t_r} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{2L} - \frac{M_p}{2L} \quad (16)$$

$$F_{z2} = \frac{L_r}{2L} W - \frac{F_{cfy} \cdot h_{gf}}{t_f} - \frac{M_{gf}}{t_f} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{2L} + \frac{M_p}{2L} \quad (17)$$

$$F_{z3} = \frac{L_r}{2L} W + \frac{F_{cfy} \cdot h_{gf}}{t_f} + \frac{M_{gf}}{t_f} + \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gf}}{2L} + \frac{M_p}{2L} \quad (18)$$

$$F_{z4} = \frac{L_f}{2L} W + \frac{F_{cry} \cdot h_{gr}}{t_r} + \frac{M_{gr}}{t_r} - \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot h_{gr}}{2L} - \frac{M_p}{2L} \quad (19)$$

Dimana M_g adalah momen guling pada kendaraan yang berbelok dan M_p adalah momen angguk yang terjadi. Besarnya momen guling dan momen angguk dapat diketahui menggunakan persamaan berikut,

$$M_{gf} = K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma_f \quad (20)$$

$$\gamma_f = \frac{\frac{L_f}{L} \cdot F_{cy} \cdot r_c}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \frac{L_f}{L} \cdot W \cdot r_c} \quad (21)$$

$$M_{gr} = K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} \cdot \gamma_r \quad (22)$$

$$\gamma_r = \frac{\frac{L_r}{L} \cdot F_{cy} \cdot r_c}{K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} - \frac{L_r}{L} \cdot W \cdot r_c} \quad (23)$$

$$M_p = (F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c \quad (24)$$

$$\gamma_p = \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \quad (25)$$

K_{eqf} dan K_{eqr} merupakan kekakuan ekivalen pegas suspensi-ban-stabilizer depan dan belakang kendaraan. K_{sf} dan K_{sr} adalah kekakuan pegas suspensi depan dan belakang. K_{teqf} dan K_{teqr} adalah kekakuan ban depan dan belakang.

Untuk kendaraan tanpa stabilizer,

- $K_{eqf} = \frac{K_{sf} \cdot K_{teqf}}{K_{sf} + K_{teqf}} \quad (26)$

- $K_{eqr} = \frac{K_{sr} \cdot K_{teqr}}{K_{sr} + K_{teqr}} \quad (27)$

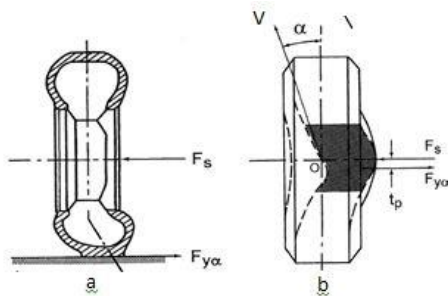
Untuk kendaraan yang menggunakan stabilizer,

- $K_{eqf} = \frac{(K_{sf} + R_{sf}) \cdot K_{teqf}}{(K_{sf} + R_{sf}) + K_{teqf}} \quad (28)$

- $K_{eqr} = \frac{(K_{sr} + R_{sr}) \cdot K_{teqr}}{(K_{sr} + R_{sr}) + K_{teqr}} \quad (29)$

γ dan γ_p merupakan sudut guling dan sudut angguk yang terjadi ketika kendaraan berbelok.

A.4. Analisa Slip



Gambar 6. Mekanisme terjadinya sudut slip pada ban [6].

Gambar 6a menunjukkan adanya gaya ke samping yang menyebabkan terjadinya deformasi pada ban sehingga arah putaran ban mengalami pergeseran sejauh sudut α seperti yang ditunjukkan pada gambar 6b. Sudut itulah yang dinamakan sebagai sudut slip yang terjadi pada ban. Analisa slip digunakan untuk mengetahui besarnya sudut slip yang terjadi pada ban depan dan belakang kendaraan.

$$\alpha_1 = \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y\alpha_1})^{0,79008} - 0,005277 (F_{z_1})] \quad (30)$$

dimana,

α_i = Sudut slip yang terjadi pada setiap roda/ban [°]

$F_{y\alpha_i}$ = Gaya belok (lateral) yang terjadi pada setiap roda/ban [lb]

F_{z_1} = Gaya normal yang terjadi pada setiap roda/ban [lb]

F_x = Gaya longitudinal yang terjadi pada kendaraan [lb]

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2 \quad (31)$$

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2 \quad (32)$$

P = Tekanan aktual ban kendaraan [Psi]

P_s = Tekanan standar ban kendaraan [25 Psi]

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y\alpha_i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (33)$$

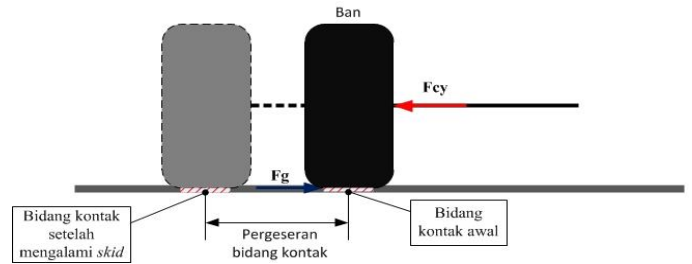
$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\alpha_i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (34)$$

Sudut slip dihitung pada setiap ban, dan dirata-rata untuk ban depan (α_f) dan ban belakang (α_r). Hasil dari analisa slip ini yaitu membandingkan nilai α_f dan α_r . Dimana,

- a. $\alpha_f > \alpha_r$, kendaraan mengalami kondisi *understeer*
- b. $\alpha_f = \alpha_r$, kendaraan mengalami kondisi netral
- c. $\alpha_f < \alpha_r$, kendaraan mengalami kondisi *oversteer*

A.5. Analisa Skid

Gambar 7 menunjukkan ilustrasi mengenai terjadinya fenomena skid yang disebabkan karena besarnya gaya lateral pada ban melebihi gaya gesek yang terjadi antara ban dengan permukaan jalan. Pada Analisa ini akan dihitung batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami skid pada ban depan (V_{sf}) dan belakang (V_{sr}) menggunakan (35) dan (36).



Gambar 7. Ilustrasi ban kendaraan ketika mengalami skid saat berbelok.

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{\mu \cdot L_f \cdot W}{\left(\frac{L_f \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R} \right) - \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \right) \right)} \quad (35)$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{\mu \cdot L_r \cdot W}{\left(\frac{L_r \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R} \right) + \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \right) \right)} \quad (36)$$

Hasil dari analisa skid ini yaitu:

- Jika $V_{sf} < V_{sr}$, roda depan akan lebih dahulu mengalami skid sehingga kendaraan akan mengalami *understeer*.
- Jika $V_{sf} > V_{sr}$, roda belakang akan lebih dahulu mengalami skid sehingga kendaraan akan mengalami *oversteer*.

A.6. Analisa Guling

Pada analisa ini dilakukan perhitungan untuk mengetahui batas kecepatan agar rodakendaraan tidak terangkat ketika berbelok merujuk pada (37) dan (38).

- Jika $V_{gf} < V_{gr}$, salah satu roda depan akan lebih dahulu terangkat sehingga kendaraan akan mengalami *understeer*.
- Jika $V_{gf} > V_{gr}$, salah satu roda belakang akan lebih dahulu terangkat sehingga kendaraan akan mengalami *oversteer*.

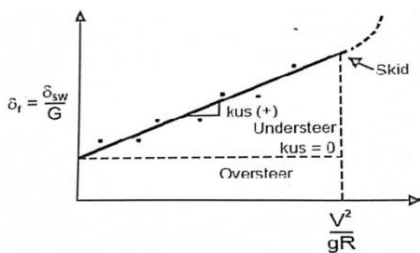
$$V_{gf} = \sqrt{\frac{L_f \cdot W \cdot t_f}{\left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) \left(L_f \cdot h_{gf} + L_f \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot \frac{L_f^2}{L}}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - L_f \cdot W \cdot r_c}\right) - t_f \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(h_{gf} + r_c + \frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} L_f^2 + 2K_{eqr} L_r^2 - W \cdot r_c}\right)}} \quad (37)$$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{L_f \cdot W \cdot t_r}{\left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R}\right) \left(L_f \cdot h_{gr} + L_f \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot \frac{L_f^2}{L}}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - L_f \cdot W \cdot r_c}\right) + t_r \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2}\right) \left(h_{gr} + r_c + \frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} L_f^2 + 2K_{eqr} L_r^2 - W \cdot r_c}\right)}} \quad (38)$$

B. Analisa Uji Jalan dengan Radius Belok Tetap

Langkah-langkah uji jalan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan radius belok R yang akan dijaga konstan selama pengujian.
2. Membelokkan kendaraan pada kecepatan tertentu (V₁), dan mempertahankannya sampai membentuk lingkaran dengan radius R. Kemudian mencatat sudut beloknya (δ_{f1}).
3. Menambah kecepatan belok kendaraan sampai kecepatan tertentu (V₂), dan mempertahankannya sampai membentuk lingkaran dengan radius R. Kemudian mencatat sudut beloknya (δ_{f2}).
4. Mengulangi langkah 3 sampai kendaraan mengalami *skid*, ditandai dengan *Vehicle Stability Control (VSC) indicator light* yang menyala.
5. Mengeplotkan data-data pengujian yang berupa sudut belok (δ_f) dan kecepatan belok (V) dalam bidang absis ($\frac{V^2}{gR}$) dan ordinat (δ_f) seperti pada gambar 8.

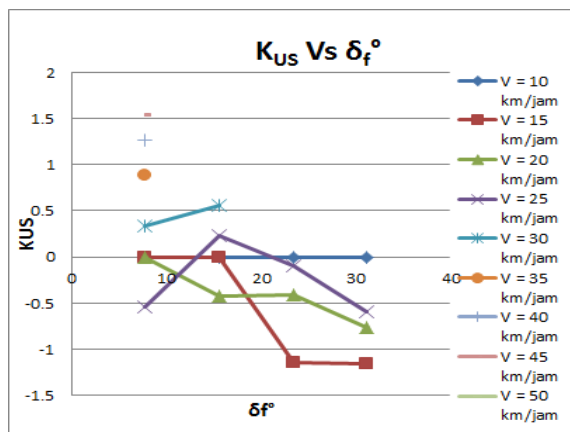


Gambar 8. Kurva hasil pengujian dengan metode radius belok tetap [6].

6. Membuat garis lurus dengan regresi linear terhadap data-data hasil pengujian di atas. Besarnya nilai K_{US} merupakan *slope* dari garis lurus yang dibuat dari data-data di atas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Perilaku Arah Belok Kendaraan



Gambar 9. Grafik nilai K_{US} Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada jalan aspal.

Gambar 9 merupakan grafik nilai K_{US} mobil Toyota Fortuner yang menunjukkan kondisi belok paling baik. Berdasarkan hasil pada gambar 9 dapat diketahui bahwa kendaraan mengalami kondisi *oversteer* paling sedikit dan memiliki nilai koefisien *understeer* yang bernilai positif paling kecil dibandingkan ketika dinaiki oleh 4 atau 7 penumpang. Kondisi ini dapat dijumpai ketika kendaraan melintas pada jalan aspal kering.

B. Pengaruh Jumlah Penumpang terhadap Sudut Slip Ban

Tabel 1.

Sudut *slip* rata-rata ban depan (α_f) dan belakang (α_r) kendaraan dengan kecepatan 35 Km/Jam pada jalan aspal dan tekanan ban 35 Psi.

δf [°]	1 Penumpang		2 Penumpang	
	αf [°]	αr [°]	αf [°]	αr [°]
7,81	6,5022	6,0749	6,6276	6,2243
15,62	SKID	SKID	SKID	SKID
23,44	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	SKID	SKID	SKID	SKID
δf [°]	4 Penumpang		7 Penumpang	
	αf [°]	αr [°]	αf [°]	αr [°]
7,81	6,7385	6,6553	6,6673	7,4820
15,62	SKID	SKID	SKID	SKID
23,44	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	SKID	SKID	SKID	SKID

Pada tabel 1 dapat diketahui hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa semakin banyak penumpang yang ada di dalam kendaraan maka sudut *slip* yang terjadi pada ban depan dan belakang kendaraan akan semakin meningkat.

C. Pengaruh Permukaan Jalan terhadap Sudut Slip Ban

Pada tabel 2 dapat diketahui hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa sudut *slip* ban akan lebih besar ketika kendaraan melintas pada jalan tanah dibandingkan pada jalan aspal.

Tabel 2.

Sudut *slip* rata-rata ban depan (α_f) serta ban belakang (α_r) kendaraan dengan 2 penumpang, pada kecepatan 35 Km/Jam, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.

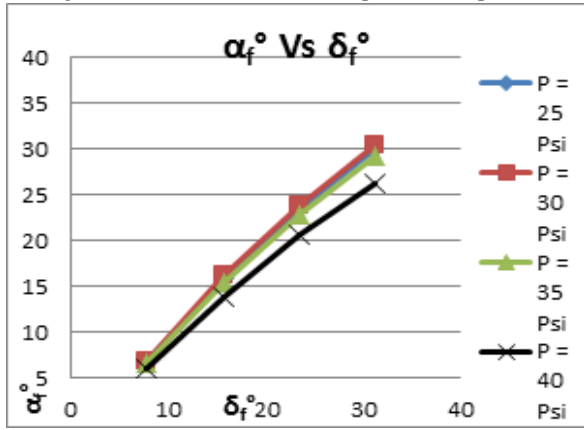
δf [°]	αf [°]		αr [°]	
	Jalan Aspal	Jalan Tanah	Jalan Aspal	Jalan Tanah
7,81	6,6276	6,9087	6,2243	6,4559
15,62	SKID	SKID	SKID	SKID
23,44	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	SKID	SKID	SKID	SKID

Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa sudut *slip* pada ban depan kendaraan mengalami peningkatan pada tekanan 25 hingga 30 Psi, namun pada tekanan 35-40 Psi cenderung mengalami penurunan. Apabila dipilih tekanan ban yang dapat memberikan sudut *slip* terkecil maka dipilih yang 40 Psi. Namun, pada analisa *skid* dapat diketahui bahwa kecepatan *skid* kendaraan mengalami penurunan seiring dengan penambahan tekanan ban. Oleh sebab itu tekanan ban yang mampu memberikan perilaku arah belok paling baik dipilih, yaitu sebesar 35 Psi.

D. Pengaruh Sudut Belok dan Kecepatan terhadap Sudut Slip Ban

Pada tabel 3 Dapat dilihat bahwa sudut *slip* pada ban kendaraan akan mengalami kenaikan sering dengan penambahan sudut belok dan kecepatan. Untuk tabel yang berwarna hijau menunjukkan kondisi kendaraan yang sudah mengalami *skid* sehingga pada kondisi ini besarnya sudut *slip* yang terjadi tidak bisa diketahui secara pasti.

E. Pengaruh Tekanan Ban terhadap Sudut Slip Ban



Gambar 10. Grafik nilai α_f° Vs δ_f° mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang dengan kecepatan 35 Km/Jam pada jalan aspal.

Tabel 3.

Sudut slip rata-rata ban depan (α_f°) serta ban belakang (α_r°) kendaraan dengan 2 penumpang, pada jalan aspal, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.

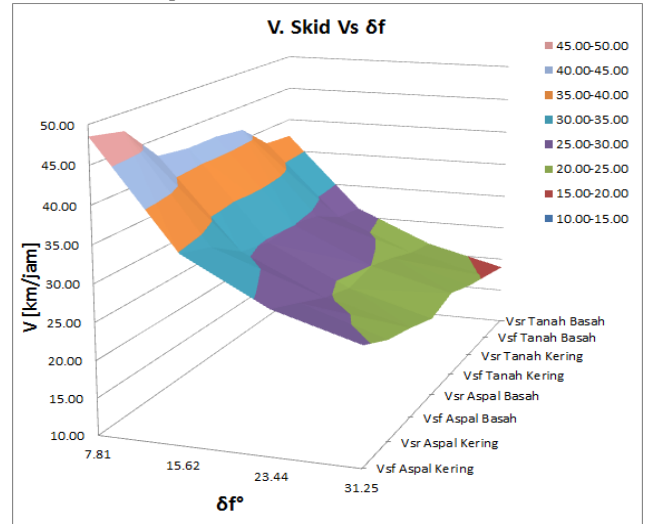
δ_f°	10 km/jam		15 km/jam		20 km/jam	
	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°
7,81	0	0	0	0	0	0
15,62	0	0	0	0	2,8542	2,9887
23,44	0	0	1,6261	1,9315	5,9840	6,1775
31,25	0	0	3,3690	3,7810	8,6735	9,1590
δ_f°	25 km/jam		30 km/jam		35 km/jam	
	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°
7,81	1,36247	1,4977	3,8655	3,7485	6,6276	6,2243
15,62	6,61740	6,5076	10,8468	10,4609	SKID	SKID
23,44	11,0269	11,0929	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	14,8019	15,3958	SKID	SKID	SKID	SKID
δ_f°	40 km/jam		45 km/jam		50 km/jam	
	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°	α_f°	α_r°
7,81	9,6305	8,9131	SKID	SKID	SKID	SKID
15,62	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID
23,44	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID
31,25	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID	SKID

Berdasarkan hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada gambar 11, dapat diketahui bahwa mobil Toyota Fortuner memiliki kecepatan skid yang paling tinggi ketika melintasi jalan aspal kering dan paling rendah ketika melintasi jalan tanah basah. Dengan sudut belok $7,81^\circ$ kecepatan skid depan kendaraan pada jalan aspal kering mencapai $48,53$ km/jam sedangkan pada jalan tanah basah hanya mencapai $37,81$ km/jam. Hal ini disebabkan oleh nilai koefisien gesek pada jalan aspal kering yang lebih tinggi daripada permukaan jalan yang lain. Berdsarkan analisa skid dapat dikatakan bahwa mobil Toyota Fortuner mengalami kondisi *oversteer* karena $V_{sf} > V_{sr}$.

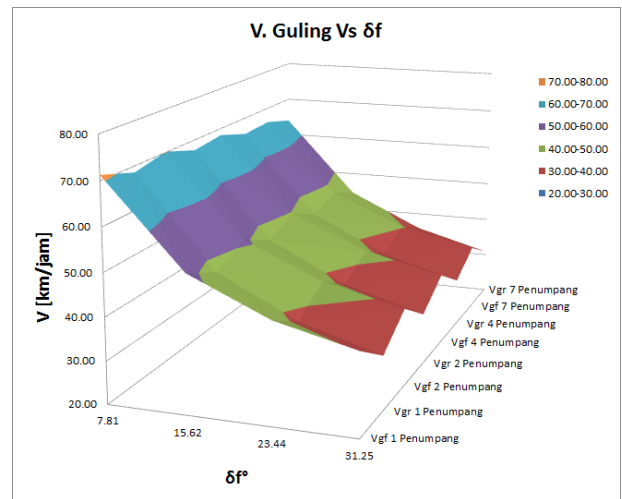
F. Analisa Guling pada Kendaraan

Pada gambar 12 dapat diketahui bahwa kecepatan guling kendaraan mengalami penurunan seiring dengan penambahan sudut belok yang diberikan. Hal itu juga terjadi ketika dilakukan penambahan penumpang. Seiring penambahan penumpang menyebabkan titik berat kendaraan bergeser ke atas sehingga menimbulkan momen guling yang besar. Pada sudut belok $7,81^\circ$ dengan 1 penumpang, batas kecepatan agar kendaraan tidak terguling total mencapai $71,28$ km/jam sedangkan dengan 7 orang penumpang hanya sebatas $66,22$ km/jam.

G. Analisa Skid pada Kendaraan



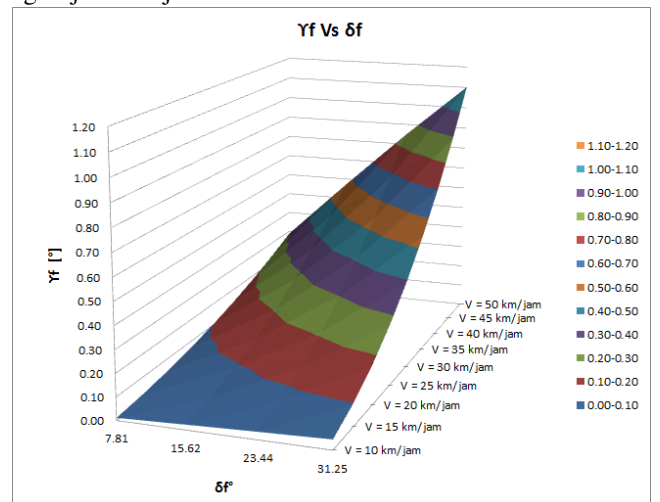
Gambar 11. Grafik batas kecepatan skid Vs (δ_f°) mobil Toyota Fortuner dengan 2 orang penumpang pada berbagai variasi permukaan jalan.



Gambar 12. Grafik batas kecepatan guling dengan sudut belok (δ_f°) mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi jumlah penumpang.

H. Pengaruh Sudut belok dan Kecepatan terhadap Sudut Guling Kendaraan Belok

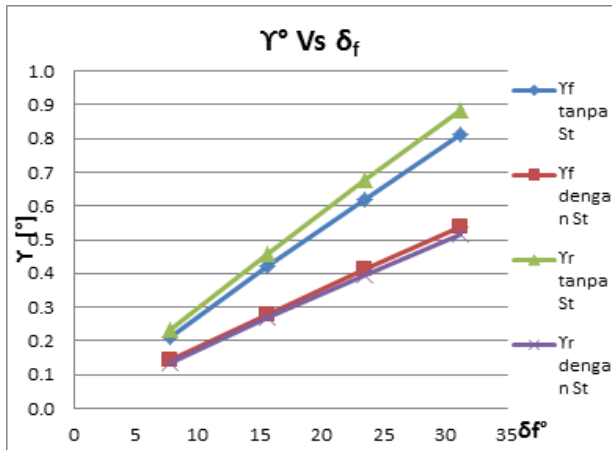
Pada gambar 13 dapat diketahui bahwa semakin besar sudut belok dan kecepatan kendaraan maka besarnya sudut guling yang terjadi menjadi semakin besar.



Gambar 13. Grafik besarnya sudut guling depan (Y_f°) dengan sudut belok (δ_f°) mobil Toyota Fortuner pada berbagai variasi kecepatan belok dan dinaiki oleh 2 orang penumpang.

I. Pengaruh Penggunaan Stabilizer terhadap Sudut Guling dan Kecepatan Guling Kendaraan

Pada gambar 14 dan tabel 4 dapat diketahui bahwa dengan penambahan stabilizer pada bagian depan maupun belakang menyebabkan besarnya sudut guling pada kendaraan menurun sehingga kecepatan guling kendaraan menjadi semakin meningkat. Sudut guling depan pada sudut belok 15, 62° dan kecepatan 35 km/jam mencapai 0,42° tanpa menggunakan stabilizer dan sebesar 0,28° ketika menggunakan stabilizer. Dengan semakin kecilnya sudut guling kendaraan saat berbelok maka kecepatan guling kendaraan akan semakin meningkat.



Gambar 14. Grafik besarnya sudut guling depan (Yf°) dan belakang kendaraan (Yr°) pada kecepatan 35 km/jam dengan sudut belok (δf°) dengan dan tanpa menggunakan stabilizer.

Tabel 4.

Kecepatan maksimum guling mobil Toyota Fortuner dengan 2 penumpang, pada jalan aspal, dan tekanan ban sebesar 35 Psi.

Rsf	Rsr	Pban	δf	Vgf	Vgr
[N/m]	[N/m]	[Psi]	[°]	[km/Jam]	[km/Jam]
0	0		7,81	70,16996	67,48480
			15,62	50,90678	46,83109
			23,44	42,81625	37,66099
			31,25	38,41586	32,23664
			7,81	70,17597	67,48482
45340	0	3	15,62	50,911317	46,83112
			28		
		5	23,44	42,820222	37,66102
			08		
			31,25	38,41959	32,23668
45340	45340		7,81	70,17595	67,48497
			15,62	50,91128	46,83123
			23,44	42,82017	37,66110
			31,25	38,41954	32,23675

J. Hasil Uji Jalan dengan Metode Radius Belok Tetap

Tabel 5.

Perbandingan kecepatan skid kendaraan hasil perhitungan dengan hasil uji jalan.

Permukaan Jalan	Hasil Perhitungan		Hasil Uji Jalan	
	δf [°]	V. Skid [km/Jam]	δf [°]	V. Skid [km/Jam]
Aspal kering	14,34	36,24	14,34	36
	14,58	35,96	14,58	36
Tanah kering	14,72	30,98	14,72	32
	15,01	30,69	15,01	32

Uji jalan dilakukan dengan radius belok tetap sebesar 10 m. Berdasarkan hasil uji jalan yang telah didapatkan dapat

diketahui bahwa nilai K_{US} kendaraan pada radius belok 10 m adalah sebagai berikut.

- K_{US} pada jalan aspal dengan stabilizer = 1,8045
- K_{US} pada jalan aspal tanpa stabilizer = 1,8115
- K_{US} pada jalan tanah dengan stabilizer = 2,1511
- K_{US} pada jalan aspal tanpa stabilizer = 2,1641

Hasil tersebut menunjukkan bahwa kendaraan cenderung mengalami kondisi *understeer*. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan yang didapatkan untuk radius nyata sebesar ± 10 m yakni mayoritas bernilai positif. Pada tabel 5 dapat diketahui perbandingan besarnya kecepatan *skid* kendaraan berdasarkan sudut belok yang dihasilkan pada uji jalan.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain: mobil Toyota Fortuner akan mengalami kondisi belok paling baik ketika dinaiki oleh 2 orang penumpang dengan memberikan tekanan ban sebesar 35 Psi dan menjalankan kendaraan pada jalan aspal kering karena tidak mudah mengalami *skid*. Sudut *slip* yang terjadi pada ban mobil ini akan menjadi lebih besar seiring dengan penambahan jumlah penumpang, sudut belok, serta kecepatan. Berdasarkan analisa *skid* dapat disimpulkan bahwa kendaraan cenderung mengalami kondisi *oversteer* karena pada setiap sudut belok dan kondisi permukaan jalan yang diberikan nilai V_{sf} selalu lebih besar dari nilai V_{sr}. Seperti pada kondisi ketika kendaraan melintas pada jalan aspal kering, dengan sudut belok 7,81° kecepatan *skid* depan kendaraan mencapai 48,53 km/jam sedangkan kecepatan *skid* belakang hanya mencapai 47,62 Km/jam. Berdasarkan analisa guling dapat disimpulkan bahwa mobil Toyota Fortuner mengalami kondisi *oversteer* karena pada setiap variasi sudut belok serta jumlah penumpang didapatkan nilai V_{gf} selalu lebih besar dari nilai V_{gr}. Ketika mobil dinaiki oleh 2 orang penumpang dengan sudut belok 7,81°, batas kecepatan agar kendaraan tidak terguling depan dan sebesar 70,18 km/jam dan batas kecepatan agar kendaraan tidak terguling belakang sebesar 67,48 km/jam. Penggunaan stabilizer pada mobil Toyota Fortuner bermanfaat untuk memperkecil sudut guling yang terjadi ketika kendaraan berbelok. Sudut guling depan yang terjadi ketika mobil dikendarai dengan sudut belok 15, 62° pada kecepatan 35 km/jam mencapai 1,24° jika tanpa menggunakan stabilizer dan sebesar 0,71° ketika menggunakan stabilizer. Berdasarkan hasil dari analisa uji jalan dengan radius belok 10 m dapat disimpulkan bahwa mobil Toyota Fortuner mengalami kondisi *understeer* karena didapatkan nilai Koefisien *Understeer* yang bernilai positif yaitu sebesar 1,8045 dan 1,8115 pada jalan aspal serta 2,151 dan 2,1641 pada jalan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kantor Kepolisian Republik Indonesia, 2013. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1987-2013, <URL: <http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1413>>; [Accessed 20.11.15].
- [2] Dukupati, R.V., et. all., 2008. "Road Vehicle Dynamic". Warrendale (PA): Society of Automotive Engineers.
- [3] Uys, P.E., Els, P.S., Thoresson, M.J., 2006. "Criteria for Handling Measurement". Journal of Terramechanics; 43:43-67.
- [4] Cronje, P.H., and Els P.S., 2009. "Improving Off-Road Vehicle Handling Using An Active Anti-Roll Bar". Journal of Terramechanics: Elsevier.
- [5] G. Rill, George., 2006. "Vehicle Dynamics". University of Applied Sciences.
- [6] Sutantra, I Nyoman, dan Bambang Sampurno. 2010. Teknologi Otomotif, Edisi Kedua. Surabaya: Guna Widya.